干旱区研究
ARID ZONE RESEARCH

doi:10.13866/j.azr.2019.02.09

旱塬区全生物降解地膜覆盖对冬小麦生长发育的影响①

赵 刚, 樊廷录, 党 翼, 张建军, 李尚中,
王淑英, 程万莉, 王 磊
（甘肃省农业科学院旱地农业研究所,甘肃 兰州 730070）

摘 要: 为探明旱塬区全生物降解地膜(降解地膜)对冬小麦生长发育的影响,于2011—2016年连续5季设普通地膜覆土栽培、降解地膜覆土栽培和露地3个处理,分析冬小麦生育期土壤水分、温度和产量的差异。结果表明:冬小麦全生育期土壤贮水消耗量为露地>降解地膜>普通地膜,3个处理耗水高峰期依次为灌浆期、拔节期和返青期;冬小麦播种—拔节期,早、中、晚3个时间段土壤温度表现为降解地膜高于普通地膜和露地,15～20 cm土壤温度为降解地膜较普通地膜处理低0.26 ℃,返青—拔节期地表温度为普通地膜>降解地膜>露地;降解地膜在拔节期和收获后0～200 cm土壤硝态氮积累量高于普通地膜,露地差异不显著;降解地膜较普通地膜的冬小麦产量和水分利用效率分别降低3.43%和5.55%;翻耕压埋90 d后降解地膜降解80%以上,135 d后完全降解。因此,旱塬区降解地膜可以替代普通聚乙烯地膜,并用于冬小麦覆土栽培。

关键词: 全生物降解地膜; 土壤水分; 土壤温度; 冬小麦; 产量; 甘肃

冬小麦是旱塬区主要农作物之一,该区年降雨量分布不均,冬小麦需水时期与降水时间时空错位[1-3],因此,干旱是限制旱塬区冬小麦产量提升的主要因素。地膜覆盖是旱作农业的主要技术[4-6],大量试验研究表明,地膜覆盖能够减少棵间蒸发,改善土壤水分状况,有效缓解水分胁迫对作物的伤害,可使作物增产30%左右[7-8],该技术成了冬小麦产量突破的一项关键技术[9-11]。随着地膜小麦面积的不断扩大和连续种植,大量的地膜残留至土壤中,造成土壤结构破坏、耕地质量下降、作物减产等一系列问题[12-13],"白色污染"不但影响农业生产,而且还对农业安全造成了巨大威胁[14-15]。因此,发展全生物降解地膜(降解地膜)以代替普通PE地膜是解决农田"白色污染"的理想途径。降解地膜的利用已经在玉米、小麦、棉花等作物上做了研究[16-18],降解地膜覆盖能够增加作物产量,与普通地膜无差异。但是,关于降解地膜对旱塬区冬小麦生长发育和土壤微环境影响的研究报道较少。因此,本研究主要引进日本三菱公司全生物降解地膜和普通地膜为覆盖材料,以露地为对照,研究旱塬区冬小麦生育进程土壤水分环境和生长指标及产量的差异,为可降解地膜在农业生产中应用提供理论依据。

1 试验区概况与方法

1.1 试验区概况

试验于2011年9月至2016年7月在农业部西北旱作营养与施肥科学观测实验站(35°30′N,107°29′E)甘肃省镇原县上肖乡进行,该地海拔1 297 m,多年平均降水量540 mm,降水主要分布在7—9月,年平均气温8.3 ℃,无霜期165 d。土壤为黑垆土,耕层土壤有机质含量10.62 g·kg^{-1},全氮0.94 g·kg^{-1},碱解氮89 mg·kg^{-1},速效磷12 mg·kg^{-1},速效钾231 mg·kg^{-1},肥力中等。该区农业生产完全依靠自然降雨,作物种植采用以冬小麦为主的一年一熟制或填闲复种的两年三熟轮作制。

1.2 试验设计

本试验于2011年秋季至2016年夏季,播种冬小麦生长5季。试验设3个处理, 处理一(PM):普

① **收稿日期:** 2018-05-10; **修订日期:** 2018-10-07
基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD020040503,2016YFB0302402,2016YFD0300110);国家科技支撑计划(2015BAD22B02-02);甘肃省农业生物技术研究与应用开发项目(GNSW-2016-14)
作者简介: 赵刚(1981-),男,硕士,助理研究员,主要从事农田水分与旱作栽培研究. E-mail: 7635423@163.com

通聚乙烯覆土小麦,地膜为全地面覆盖,在案地膜上覆土2～3 cm;处理二(JM):全生物降解地膜覆土小麦,引进日本全生物树脂降解地膜,地膜为全地面覆盖,并在地膜上覆土2～3 cm;处理三(CK):露地。播种时均为平作穴播,试验采用随机区组设计,重复3次,供试品种为长6359。小区面积为10 m^2,地膜使用冬小麦1季,下季播种前重新覆盖;施纯氮180 kg·hm^{-2},P_2O_5 105 kg·hm^{-2},肥料一次施入,不做追肥处理。其他管理同大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 *产量* 在冬小麦成熟后,采用实收记产,收获后自然风干,考种后脱粒记产(按14%含水量折合产量)。

1.3.2 *土壤水分和冬小麦水分利用效率测定* 播种前和收获时分别用土钻法测定每个小区2 m土层(每20 cm为一个层次)的土壤含水率,转化为播前和收获时的土壤贮水量(mm)。生育期降雨量通过MM－950自动气象站获得。试验地在旱塬地带,降雨不产生径流,所以本研究中地表径流可忽略不计。利用土壤水分平衡方程计算作物耗水量(土壤水分蒸发与作物蒸腾量)。各指标计算公式如下:

冬小麦耗水量(mm)＝播前2 m土壤贮水量(mm)－收获时2 m土壤贮水量(mm)＋生育期降水量(mm);

冬小麦水分利用效率(kg·hm^{-2}·mm^{-1})＝籽粒产量(kg·hm^{-2})/生育期耗水量(mm)。

1.3.3 *土壤温度测定* 采用多点土壤温湿度记录仪(TR－TSWC)测定0～20 cm土壤温度,播种后分层埋设,每隔1 h记录1次。

1.3.4 *硝态氮测定* 冬小麦播前、拔节期、灌浆期和收获后分别取样,采用土钻法采集0～200 cm土壤样品,每20 cm为一层,每小区选取3点,同层土样充分混合,保留大约500 g土壤作为一个分析样本。土壤硝态氮含量用AA3(auto analyzer 3,德国SEAL公司)连续流动分析仪测定。

土壤硝态氮积累量(kg·hm^{-2})＝土层厚度(cm)×土壤容重(g·cm^{-3})×土壤硝态氮含量(mg·kg^{-1})/10

1.3.5 *全生物降解地膜降解测评* 第一阶段:诱导阶段,开始铺膜到出现小裂缝的时间(＜1 cm为小裂缝),记录出现小裂缝的时间。

第二阶段:破裂期,肉眼清楚看到大裂缝的时间(＞3 cm为大裂缝)。

第三阶段:崩解期,地膜已经裂解成大碎块,没有完整的膜面,出现膜崩裂的时间(出现＞5 cm的裂缝,或者有的裂口合并,出现碎块的时间)。

第四阶段:地面无大块残膜存在,仍有小碎片的时间。

第五阶段:地膜在地表基本消失的时间。

将地膜剪切至30 cm×30 cm统一面积,翻埋至20 cm深度,地膜翻埋后每隔15 d挖出后取样称重,计算失重率:

失重率＝(前一次地膜重量－后一次地膜重量)/后一次地膜重量×100%

1.4 地膜材料基本特征

1.4.1 普通地膜主要成分为聚乙烯(PE),柔软、易造型、透光性好、耐老化、保水、保温性好,白色,厚度为0.01 mm。

1.4.2 三菱降解地膜为日本三菱公司进口材料,主要成分是高分子量的脂肪族聚酯—聚丁二酸丁二醇酯(PBS,生物降解地膜)。全生物降解地膜最大的特点是微生物可降解,翻埋后由土壤微生物分解为CO_2和H_2O,柔软、保水保温,延展性较普通地膜差,白色,厚度为0.01 mm,通过加工成膜技术改进提高了产品韧性,能进行机械铺膜。降解地膜价格为35元·kg^{-1},是普通地膜的2.6倍。

2 结果与分析

2.1 2011年9月至2016年7月冬小麦生育期降雨量分析

试验分别于2011—2015年进行(表1),2011—2012、2012—2013、2013—2014年和2014—2015年冬小麦全生育期降雨量分别为353.9、179.2、251.1、267.4 mm和265.2 mm,与多年平均降雨量250 mm相比,2011—2012年度为丰水年,2012—2013年为欠水年,2013—2014、2014—2015年和2015—2016年为平水年;2011—2012年冬小麦各生育期均降雨充足,2012—2013年播种—拔节期降雨为42.1 mm,出现冬春两季严重干旱现象。冬小麦水分临界期为孕穗期,2011—2012年冬小麦为丰水年,2012—2013年冬小麦全生育期降雨接近平水年,但在关键生育期严重干旱,冬小麦生长发育受到严重水分胁迫。

表 1　冬小麦生长时期逐月降雨量

Tab. 1　Monthly rainfall in growth period of winter wheat

/mm

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2011	–	–	–	–	–	–	–	–	6	55.4	36.6	4.3
2012	5.3	7.1	23.5	24.0	88.5	71.0	47.0	86.2	0	7.2	0.4	0
2013	0	5.2	0	29.3	65.4	76.5	55.4	56.6	127.7	24.2	18.9	0
2014	0	19.3	18.1	98.6	21.7	64.1	14.8	127.7	188.8	16.1	5.4	1.1
2015	3.3	2.6	30.6	94.1	34.4	79.8	45.1	72.0	65.3	39.7	55.1	0
2016	0	0	13.6	31	44.8	75.5	105.2	–	–	–	–	–

表 2　不同处理冬小麦 0 ~ 200 cm 土壤阶段耗水量与土壤贮水消耗量变化

Tab. 2　Soil water consumption and soil water storage consumption in 0 – 200 cm soil layer under different treatments

/mm

年份	处理	播种—返青期		返青—拔节期		拔节—灌浆期		灌浆—成熟期	
		耗水量	土壤贮水消耗量	耗水量	土壤贮水消耗量	耗水量	土壤贮水消耗量	耗水量	土壤贮水消耗量
2012	PM	47.8b	–13.6b	212.8a	122.3a	147.0b	66.3b	141.8b	18.5c
	JM	55.1a	–6.3a	195.5a	105.0b	165.0a	84.3a	164.3a	41.0a
	CK	45.5b	–15.9b	211.9a	121.4a	165.2a	84.5a	151.7ab	28.4b
2013	PM	105.0a	85.7b	76.2a	61.8a	58.9b	–1.5a	57.5b	–27.6b
	JM	110.7a	92.4a	55.8b	41.4ab	66.0a	3.6a	42.6c	–41.5c
	CK	109.6a	91.3a	50.5b	36.1b	41.8c	–20.6b	81.7a	–2.4a
2014	PM	355.3a	176.2a	29.1a	29.1a	113.0a	70.7a	75.4a	31.9a
	JM	359.7a	180.6a	18.8b	18.8ab	93.6b	51.3b	79.6a	36.1a
	CK	367.2a	188.1a	12.4c	12.4b	93.1b	50.8b	76.8a	33.3a
2015	PM	188.9c	43.8c	40.7a	32.6a	70.5a	50.6a	84.3b	–10.0b
	JM	205.7b	60.6b	41.2a	33.1a	63.9a	44.0a	108.9a	14.6a
	CK	225.8a	80.7a	40.3a	32.2a	68.8a	48.9a	116.5a	22.2a
2016	PM	91.8a	–28.9a	75.0a	39.9ab	100.6c	41.2c	60.7a	6.7a
	JM	77.4b	–33.3a	79.8a	44.7a	148.5a	89.1a	33.1c	–20.9c
	CK	84.7ab	–36.0a	65.2b	30.1b	122.8b	63.4b	46.0b	–8.0b

注:PM 表示普遍地膜覆土栽培,JM 表示全生物降解地膜覆土栽培,CK 为露地。下同。

2.2　不同处理冬小麦 0 ~ 200 cm 土壤阶段耗水量变化

黄土旱塬区降水分布严重不均,冬小麦需水期与降水时间错位。通过对连续 5 季冬小麦不同生育阶段耗水量分析(表 2),结果显示,不同降水年型耗水量高峰期不同,阶段耗水量随着不同降水年型的变化而振幅较大,2012 年返青—拔节期耗水量占全生育期 33% 以上,2013、2014 年和 2015 年播种—返青期耗水量分别占全生育期 35%、62% 和 49% 以上,2016 年出现在拔节—灌浆期,冬小麦耗水峰值受降水分布影响而变化。

播种—返青期耗水量露地 > 降解地膜 > 普通地膜,返青—拔节期普通地膜处理较露地和降解地膜处理增加 14.1% 和 11.0%,拔节—灌浆期降解地膜处理显著高于普通地膜和露地处理,分别增加 9.6% 和 9.3%,灌浆—成熟期露地耗水量增加,地膜覆盖差异不大。

冬小麦全生育期土壤贮水消耗量为露地 > 降解地膜 > 普通地膜,普通地膜和降解地膜之间差异不大。从不同生育阶段来看,露地处理在播种—返青期和灌浆—成熟期显著高于普通地膜、降解地膜处理,分别高 17.1% 和 8.5%、277.0% 和 151.4%,返青—拔节期、拔节—灌浆期差异不大;年际之间差异较大,2012 年和 2016 年播种—返青期土壤水分蓄集,2013、2014 年和 2015 年土壤水分消耗严重,尤其是 2014 年消耗了 176.2 ~ 188.1 mm,占全生育期耗水量的 62.0% ~ 66.8%;返青—拔节期普通地膜处理显著高于其他处理,主要因为地膜提温快,长势显著高于其他处理,降解地膜和露地处理之间差异不显著;拔节—灌浆期 2012 年占全生育期

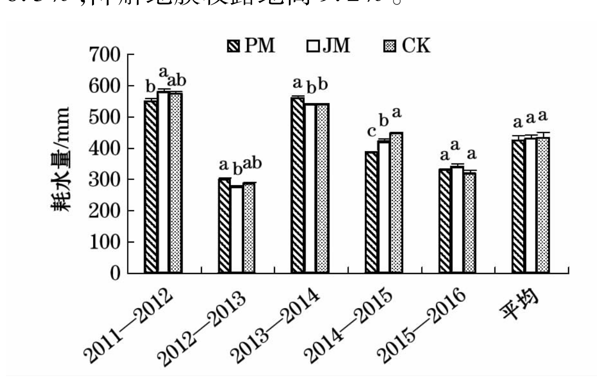
26.7% ~ 28.8%，2013、2014 年和 2015 年占 14.7% ~24.0%，其中 2013 年普通地膜和露地出现了水分盈余，2016 年为 31% ~44%，降解地膜高于普通地膜和露地；灌浆—成熟期 2013 年和 2016 年出现了土壤水分盈余现象，2013 年和 2016 年降解地膜分别较露地多蓄 39.1 mm、12.9 mm 降水，2012、2014 年和 2015 年消耗土壤贮水量与露地差异不显著。

2.3 不同处理 0 ~ 200 cm 冬小麦全生育期耗水量变化

冬小麦生育期耗水量差异不大，从多年平均来看，普通地膜、降解地膜和露地耗水量分别为 423.3、429.9 mm 和 431.8 mm，年际间变异系数分别为29.0%、29.9% 和 29.8%，说明降解地膜覆盖和普通地膜覆盖冬小麦全生育期耗水量差异不大，但年际间受降水等气候条件的影响，波动较大。

2012 年和 2014 年耗水量分别为 565.9 mm 和 545.1 mm，2013、2015 年和 2016 年分别较 2 a 平均值减少了 48.6%、25.0% 和 40.9%。

不同处理多年平均耗水量为露地 > 降解地膜 > 普通地膜，但差异不显著（图 1）；2012 年和 2016 年降解地膜较露地、普通地膜高 0.9% 和 6.3%、5.6% 和 3.2%，2013 年和 2014 年普通地膜较降解地膜分别高 8.2% 和 3.9%，露地和降解地膜耗水无差异，2015 年降水分布均匀，春季没有干旱发生，露地耗水量分别较普通地膜和降解地膜高 16.0% 和 6.3%，降解地膜较露地高 9.2%。



注：PM 表示普通地膜覆土栽培，JM 表示全生物降解地膜覆土栽培，CK 为露地。下同。

图 1 冬小麦不同处理不同年份耗水量变化

Fig. 1 Change of water consumption of winter wheat under different treatments in different years

2.4 覆盖方式对土壤温度的影响

冬小麦播种后至拔节期，土壤温度随着时间推移呈抛物线变化，先减小后增大，最低温度出现在 1 月上旬；随着土层深度增加，土壤温度显著降低。08:00 平均温度为 −3.96 ~4.11 ℃，最低温度出现在 5 cm 处，最高温度为地表土层；12:00 平均温度 −3.52 ~12.08 ℃，温度逐层降低，最低温度在 20 cm 土层；18:00 平均温度 −2.45 ~6.67 ℃，最高温度在 5 cm 土层，最低温度出现在 20 cm 土层。08:00土壤温度显著降低，随着太阳辐射，表层温度逐渐升高，但深层土壤温度较低，到 18:00，表层土壤温度部分向下层转移，20 cm 土层土壤温度显著升高。

不同时段不同处理温度差异变化不同（图 2），08:00 和 12:00 在播种后 2012 年 9 月 24 日至 2013 年 2 月 21 日之间，表层土壤温度为露地 < 降解地膜 < 普通地膜，2013 年 2 月 1 日至 4 月 10 日，露地温度升温速度明显高于降解地膜和普通地膜覆盖处理，分别提温 1.74 ℃、1.39 ℃和 1.10 ℃、0.43 ℃；18:00 露地温度小于降解地膜和普通地膜覆盖。不同时段 5 cm、10 cm、15 cm 和 20 cm 土壤温度普通地膜较降解地膜平均增加 0.18 ℃、−0.04 ℃、0.22 ℃和 0.29 ℃，深层土壤温度较表层土壤温度有所增加，说明普通地膜覆盖能够将温度向深层传导。

2.5 覆盖方式对土壤养分的影响

冬小麦不同生育期 0 ~200 cm 土壤硝态氮积累变化如图 3 所示。不同生育期不同处理间差异显著（$P < 0.05$），拔节期和收获后降解地膜硝态氮积累量无差异，普通地膜处理显著低于露地；灌浆期露地显著高于地膜覆盖处理（$P < 0.05$）；随着生育期推移，硝态氮积累量逐渐增加，拔节期和灌浆期较播前硝态氮有所增加，增幅为 15% ~46%，收获后增加 136% ~155%，且向 60 cm 以下迅速累积。收获后因降水增多，温度升高，土壤微生物活力增加，氮矿化速率增加，硝态氮迅速积累，向下淋溶。

2.6 降解地膜地表覆土和翻埋后对降解的影响

本试验采用的日本全生物降解地膜为三菱公司生产进口地膜，表层覆土后 170 d 左右进入诱导阶段，此阶段为冬小麦出苗越冬期，土壤封冻，温度低，土壤水分蒸发损失小；210 d 进入破裂阶段，此阶段为冬小麦返青—拔节期，降解膜开始出现肉眼可以观察到的裂口；拔节—成熟期由于地表干旱，降解膜无变化；PE 地膜全生育期均无破裂。地膜翻埋至土壤中，降解情况如图 4 所示，降解膜 30 d后开始失

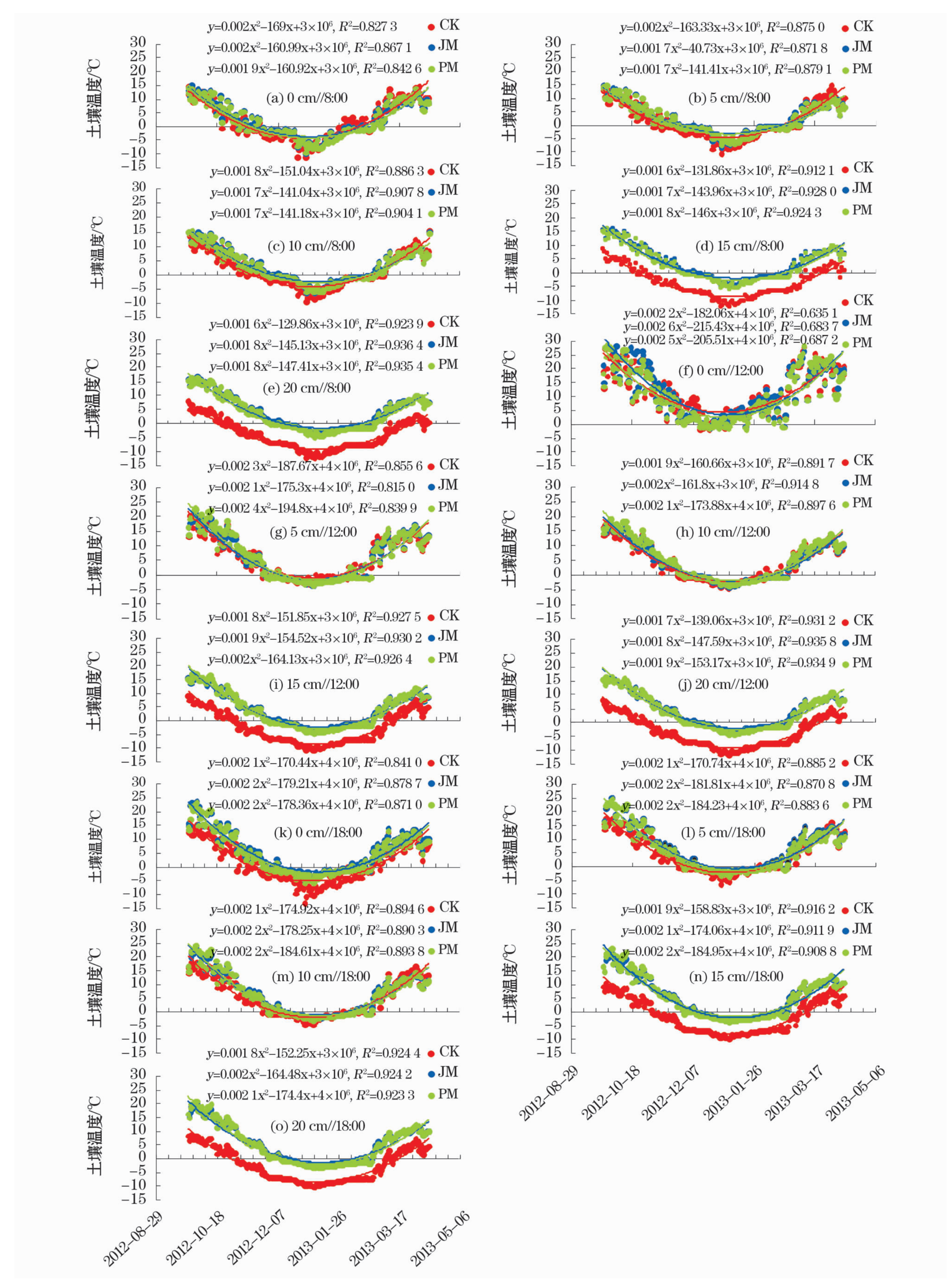


图 2　不同时间段不同处理对 0～20 cm 土壤温度的影响(2012—2013 年)

Fig. 2　Effects of different treatments on soil temperature in 0－20 cm soil layer in different periods (2012－2013)

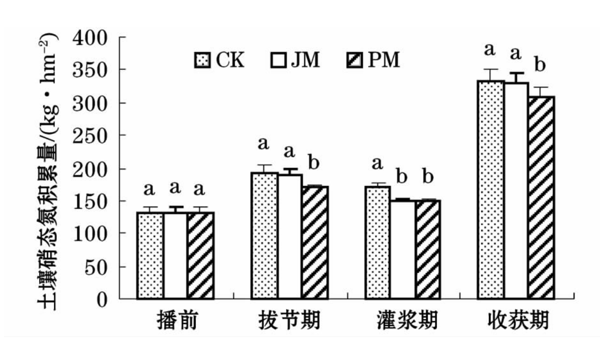


图3 不同处理冬小麦各生育期0~200 cm土壤硝态氮积累量

Fig. 3 Nitrate nitrogen accumulation in 0-200 cm soil layer at different growth stages of winter wheat

重,90 d后降解80%,135 d完全降解。

2.7 覆盖方式对冬小麦产量和水分利用效率的影响

由表3可以看出,普通地膜、降解地膜覆盖分别增产19.03%和14.95%,水分利用效率分别提高了25.27%和18.31%,普通地膜较降解地膜覆盖产量和水分利用效率增加了3.43%和5.55%,差异不显著,2012—2016年产量和水分利用效率年际之间的变化为露地>降解地膜>普通地膜。

不同年型和处理间,产量和水分利用效率差异均达到了极显著水平($P<0.001$),两因素互作也达到了显著水平($P<0.01$);年际间产量为2012年>2014年>2016年>2013年>2015年,2012年平均为7 723.5 kg·hm^{-2},较2015年产量和水分利用效率分别增加139.98%和75.62%。不同覆盖材料较露地增产幅度最大的为2016年,普通地膜和降解地膜分别增产45.31%和34.80%,其他4 a增产幅度在10%左右;普通地膜较降解地膜增产-2.37%~11.88%,2015年增产幅度最大,2014年普通地膜减产2.37%;水分利用效率增加幅度为-6.40%~25.23%,2015年增幅最大,2013年和2014年降解地膜高于普通地膜,其他年份差异不大。

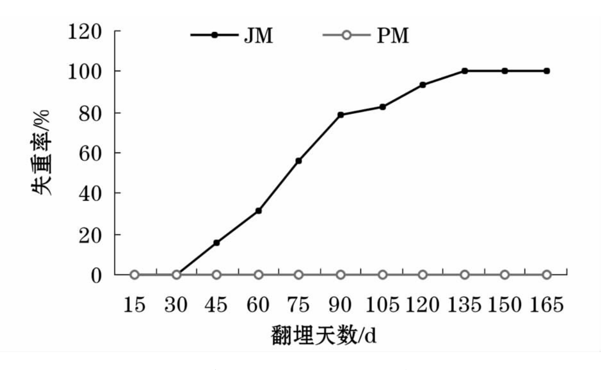


图4 降解膜翻埋后失重率变化

Fig. 4 Change of weight loss ratio of biodegradable plastic film after plowing

表3 不同处理不同年份产量和水分利用效率的变化

Tab. 3 Grain yield and water use efficiency of winter wheat under different treatments in different years

处理	产量/(kg·hm^{-2})						Cv /%	水分利用效率/(kg·hm^{-2}·mm^{-1})						Cv /%
	2011—2012年	2012—2013年	2013—2014年	2014—2015年	2016年	平均		2011—2012年	2012—2013年	2013—2014年	2014—2015年	2016年	平均	
PM	8 016.4a	4 191.9a	7 393.5ab	3 496.2a	4 946.7a	5 609.0a	35.54	14.64a	14.08a	13.23a	9.87a	15.08a	13.38a	15.53
JM	7 752.4ab	3 943.2a	7 568.5a	3 080.9a	4 737.4a	5 416.5a	39.35	13.41ab	14.33a	14.07a	7.38b	13.99a	12.64a	22.4
CK	7 188.4b	3 013.5b	6 991.7b	3 059.7a	3 307.0b	4 712.0b	46.15	12.56b	10.63b	12.99a	6.86b	10.38b	10.68b	22.73

3 结果与讨论

旱塬区水分对作物生长发育至关重要,降水时空分布不均是该区主要特征,冬小麦生育期恰好处在降水贫乏时期,然而,地膜覆盖能够调控土壤水分的时空再分配[19],地膜覆盖有效降低了无效蒸发,促进小麦根系下扎[20-21],有利于小麦利用深层土壤水分,王淑英等[22]研究发现,全生物降解地膜保墒率达到了90.4%~95.4%,抑蒸保墒效果接近普通地膜。本研究发现,在同一生育进程中,地膜覆盖减少了棵间无效蒸发,提高了冬小麦蒸腾作用,在播种—返青期露地较地膜覆盖耗水高4.8~8.7 mm,返青期—拔节期普通地膜覆盖耗水量增加,较露地增加14.07%,降解地膜与露地基本一致,随着生育期推移,降解地膜耗水高峰期出现在拔节—灌浆期,灌浆—成熟期露地显著高于地膜覆盖,即随着冬小麦生长发育进程推移,普通地膜覆盖小麦、全生物降解地膜和露地耗水高峰依次向后推移;土壤贮水量消耗差异不大,冬小麦全生育期依次为167.7 mm、163.6 mm和161.3 mm,即露地>降解地膜>普通地膜;全生育期耗水量与土壤贮水消耗量变化规律基本一致,说明降解地膜保墒性与普通地膜差异不

大，在保证冬小麦生育期需水的同时不会过多消耗土壤水分。

地膜覆盖对小麦具有良好的增温效果[21,23]，本研究发现，播种—拔节期冬小麦土壤温度呈开口向上的抛物线形，谷底出现在1月上旬，随着土层深度降低，土壤温度逐渐降低；早、中、晚0～20 cm土壤温度普通地膜和降解地膜分别较露地高3.09 ℃、2.75 ℃、4.22 ℃和3.47 ℃、2.96 ℃、4.33 ℃，降解地膜较普通地膜温度增加快，主要由于降解地膜在冬小麦播种后气温开始降低，地膜保持完整，保温性能好；露地15 cm和20 cm土层温度显著低于覆膜处理，降解膜和普通地膜温度增加6.43～7.65 ℃，说明地膜覆盖提高了地温，同时加快了温度向深层传导并累积，普通地膜较降解地膜深层温度提高0.26 ℃，降解地膜在冬小麦返青后对15 cm以下土壤温度增温效果不佳；在08:00和12:00，返青期前表层土壤温度为普通地膜＞降解地膜＞露地；返青期—拔节期，露地较普通地膜和降解地膜分别高1.25 ℃和1.09 ℃；08:00降解地膜较普通地膜高0.35 ℃，12:00时普通地膜较降解地膜高0.67 ℃；地膜覆盖处理播种—越冬前地温较高，冬小麦分蘖旺盛，地表覆盖度较高，越冬后开始返青，露地处理裸露地表较大，太阳直射后地表升温较快，但传导与保存热能不及地膜覆盖处理。因此，地膜覆盖能增加土壤有效积温，这与很多学者研究一致[24-26]。

硝态氮是土壤中最为活跃的氮素形态，存在明显的时空差异，随着小麦生育进程向深层土壤淋溶[27-28]，地膜覆盖加剧了硝态氮向深层淋溶[29]，本研究发现，在各生育期露地处理硝态氮积累量均显著高于其他2个处理，小麦收获后随着温度升高，降水量的增加，氮素矿化速率显著增加，硝态氮积累量迅速升高，加之冬小麦收获后植物吸收量为零，因此，冬小麦休闲期成为氮素向下淋溶的主要时期；在拔节期和收获后降解地膜分别较普通地膜处理高11.96%和7.15%，灌浆期差异不显著，说明全膜覆土有利于植物吸收氮素，减少了硝态氮的淋溶。降解地膜在冬小麦最大耗水时期硝态氮积累量与普通地膜无差异，拔节期由于冬小麦生长较普通地膜缓慢，硝态氮迅速积累，收获后由于降解地膜破裂，硝态氮积累并向下淋溶。

地膜覆盖是旱作农业的一项重大举措，覆膜能有效降低土壤水分蒸发，促进土壤—作物—大气的水分良性循环，改善作物生长状况，使作物产量和水分利用效率显著提高[30-33]。本研究经过连续5 a研究发现，普通地膜和降解地膜分别较露地增产19.03%和14.95%，水分利用效率提高了25.27%和18.31%，普通地膜较降解地膜产量和水分利用效率增加3.43%和5.55%，二者年度之间变异系数都表现为露地＞降解地膜＞普通地膜，普通地膜覆土栽培具有较好的稳产性，露地随降水年型变化的差异较大，降解地膜年际间产量和水分利用效率分别较普通地膜降低3.81和6.87个百分点，与普通地膜覆土处理差异不显著，这与前人研究一致[23]。

降解地膜覆盖具有较好的增温保墒功能，冬小麦连续5 a平均产量和水分利用效率与普通地膜差异不显著，降地膜覆土栽培技术在夏季休闲期翻耕90 d降解80%以上，135 d完全降解，减少了白色污染，降低了地膜残留对后季作物生长的影响。因此，在旱塬区使用全生物降解地膜覆土栽培技术能够替代普通聚乙烯地膜覆土栽培技术。

参考文献(References)：

〔1〕 Li S X, Wang Z H, Li S Q, et al. Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China〔J〕. Agricultural Water Management, 2013, 116: 39-49.

〔2〕 田展，梁卓然，史军，等. 近50年气候变化对中国小麦生产潜力的影响分析〔J〕. 中国农学通报，2013，29(9)：61-69.〔Tian Zhan, Liang Zhuoran, Shi Jun, et al. Analysis of impact on China wheat potential productivity of climate change during 1961-2010〔J〕. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(9): 61-69.〕

〔3〕 邓振镛，王强，张强，等. 中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施〔J〕. 生态学报，2010，30(22)：6 278-6 288.〔Deng Zhenyun, Wang Qiang, Zhang Qiang, et al. Impact of climate warming and drying on food crops in northern China and the counter measures〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(22): 6 278-6 288.〕

〔4〕 Zhang S L, Sadras V, Chen X P, et al. Water use efficiency of dryland wheat in the Loess Plateau in response to soil and crop management〔J〕. Field Crops Research, 2013, 151: 9-18.

〔5〕 Gan Y T, Siddique Kadambot H M, Turner N C, et al. Chapter Seven-Ridge-furrow mulching systems-aninnovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments〔J〕. Advances in Agronomy, 2013, 118: 429-476.

〔6〕 皮小敏，孙本华，崔全红，等. 不同覆盖措施对塿土碳氮及水分的影响〔J〕. 干旱区研究，2017，34(4)：806-814.〔Pi Xiaomin, Sun Benhua, Cui Quanhong, et al. Effect of different mulching on soil carbon, nitrogen and moisture contents in eum-orthric anthrosols〔J〕. Arid Zone Research, 2017, 34(4): 806-814.〕

〔7〕 Han J, Jia Z K, Wu W, et al. Modeling impacts of film mulching on rainfed crop yield in Northern China with DNDC〔J〕. Field Crops

Research,2014,155:202 - 212.

〔8〕 马忠明,杜少平,薛亮. 不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响〔J〕. 生态学报,2011,31(5):1 295 - 1 302.〔Ma Zhongming,Du Shaoping,Xue Liang,et al. Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2011,31(5):1 295 - 1 302.〕

〔9〕 张平良,郭天文,侯慧芝,等. 不同穴播种植方式与平衡施肥对旱地春小麦产量及水分利用效率的影响〔J〕. 干旱地区农业研究,2012,30(1):132 - 136.〔Zhang Pingliang,Guo Tianwen,Hou Huizhi,et al. Effects of different cultivation and balanced fertilization on spring wheat yield and water use efficiency in semiarid areas〔J〕. Agriculture Research in the Arid Areas,2012,30(1):132 - 136.〕

〔10〕 侯慧芝,吕军峰,张绪成,等. 陇中半干旱区全膜覆土穴播小麦的土壤水分及产量效应〔J〕. 作物杂志,2010(1):13 - 15.〔Hou Huizhi,Lü Junfeng,Zhang Xucheng,et al. Effects of film-mulched soil and bunch-seeded wheat in semi-arid region on soil moisture content and grain yield〔J〕. Crops,2010(1):13 - 15.〕

〔11〕 何春雨,周祥椿,杜久元,等. 全膜覆土免耕穴播栽培技术对冬小麦产量效应的研究〔J〕. 农业现代化研究,2010,31(6):746 - 749.〔He Chunyu,Zhou Xiangchun,Du Jiuyuan,et al. Study on winter wheat yield under technology of no-tillage,bunch-planting,whole film and soil mulching during whole growth〔J〕. Research of Agricultural Modernization,2010,31(6):746 - 749.〕

〔12〕 乔海军,黄高宝,冯福学,等. 生物全降解地膜的降解过程及其对玉米生长的影响〔J〕. 甘肃农业大学学报,2008,10(5):71 - 75.〔Qiao Haijun,Huang Gaobao,Feng Fuxue,et al. Degradation and its effect on corn growth of biodegradable mulch film〔J〕. Journal of Gansu Agricultural University,2008,10(5):71 - 75.〕

〔13〕 王星,吕家珑,孙本华. 覆盖可降解地膜对玉米生长和土壤环境的影响〔J〕. 农业环境科学学报,2003,22(4):397 - 401.〔Wang Xing,Lü Jialong,Sun Benhua. Effects of covering degradable films on corn growth and soil environment〔J〕. Journal of Agro-Environment Science,2003,22(4):397 - 401.〕

〔14〕 徐刚,杜晓明,曹云者,等. 典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究〔J〕. 农业环境科学学报,2005,24(1):79 - 83.〔Xu Gang,Du Xiaoming,Cao Yunzhe,et al. Residue levels and morphology of agricultural plastic film in representative areas of China〔J〕. Journal of Agro-Environment Science,2005,24(1):79 - 83.〕

〔15〕 李平娟. 浅论地膜污染与防治对策〔J〕. 江苏环境科学,2004,17(增刊):35 - 36.〔Li Pingjuan. Shallowly discusses film pollution and countermeasures〔J〕. Jiangsu Environmental Science and Technology,2004,17(Suppl.):35 - 36.〕

〔16〕 张杰,任小龙,罗诗峰,等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响〔J〕. 农业工程学报,2010,26(6):14 - 19.〔Zhang Jie,Ren Xiaolong,Luo Shifeng,et al. Influences of different covering materials mulching on soil moisture and cron yield〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2010,26(6):14 - 19.〕

〔17〕 白丽婷,海江波,韩清芳,等. 不同地膜覆盖对渭北旱塬冬小麦生长发育及水分利用效率的影响〔J〕. 干旱地区农业研究,2010,28(4):135 - 139,162.〔Bai Liting,Hai Jiangbo,Han Qingfang,et al. Effects of mulching with different kinds of plastic film on growth and water use efficiency of winter wheat in Weibei highland〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas,2010,28(4):135 - 139,162.〕

〔18〕 戴敬,陈荣来,李国军. 可降解地膜覆盖棉花增产效应的研究〔J〕. 中国生态农业学报,2004,12(2):140 - 142.〔Dai Jing,Cheng Ronglai,Li Guojun. The increasing yield effects of degradable plastic film mulching on the cottons〔J〕. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2004,12(2):140 - 142.〕

〔19〕 王红丽,张绪成,宋尚有,等. 西北黄土高原旱地全膜双垄沟播种植对玉米季节性耗水和产量的调节机制〔J〕. 中国农业科学,2013,46(5):917 - 926.〔Wang Hongli,Zhang Xucheng,Song Shangyou,et al. Regulation of whole field surface plastic mulching and double ridge-furrow planting on seasonal soil water loss and maize yield in rain-fed area of northwest Loess Plateau〔J〕. Scientia Agricultura Sinica,2013,46(5):917 - 926.〕

〔20〕 Burgess S S O,Adams M A,Turner N C,et al. The redistribution of soil water by tree root systems〔J〕. Oecologia,1998,115(3):306 - 311.

〔21〕 王红丽,宋尚有,张绪成,等. 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响〔J〕. 生态学报,2013,33(18):5 580 - 5 588.〔Wang Hongli,Song Shangyou,Zhang Xucheng,et al. Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature,moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu,China〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2013,33(18):5 580 - 5 588.〕

〔22〕 王淑英,樊廷录,李尚中,等. 生物降解地膜降解、保墒增温性能及对玉米生长发育进程的影响〔J〕. 干旱地区农业研究,2016,34(1):127 - 133.〔Wang Shuying,Fan Tinglu,Li Shangzhong,et al. Property of biodegradable film degradation water-retention and increasing soil temperature and its impact on maize growth and development process〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas,2016,34(1):127 - 133.〕

〔23〕 白有帅,贾生海,黄彩霞,等. 旱作区生物降解膜对土壤温度、水分及春小麦产量的影响〔J〕. 麦类作物学报,2015,35(11):1 558 - 1 563.〔Bai Youshuai,Jia Shenghai,Huang Caixia,et al. Effect of biodegradable film on soil temperature,moisture and yield of spring wheat in dryland〔J〕. Journal of Triticeae Crops,2015,35(11):1 558 - 1 563.〕

〔24〕 Li F M,Wang J,Xu J Z. Plastic film mulch effect on spring wheat in a semiarid region〔J〕. Journal of Sustainable Agriculture,2005,25(4):5 - 17.

〔25〕 Liu C A,Jin S L,Zhou L M,et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters〔J〕. European Journal of Agronomy,2009,31(4):241 - 249.

〔26〕 侯慧芝,吕军峰,郭天文,等. 西北黄土高原半干旱区全膜覆土穴播对土壤水热环境和小麦产量的影响〔J〕. 生态学报,2014,34(19):5 503 - 5 513.〔Hou Huizhi,Lü Junfeng,Guo Tianwen,et al. Effects of whole field soil-plastic mulching on soil thermal-moisture status and wheat yield in semiarid region on Northwest Loess Plateau〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2014,34(19):5 503 - 5 513.〕

〔27〕 李世清,李生秀. 半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失〔J〕. 应用生态学报,2000,11(2):240 - 242 .〔Li Shiqing,Li Shengxiu. Leaching loss of nitrate from semiarid area agroecosystem〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2000,11(2):240 -

242.〕
〔28〕 Riley W J, Ortiz Monasterio I, Matson P A. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico〔J〕. Nutrient Cycling Agroecosystems, 2001, 61: 223 – 236.
〔29〕 周昌明,李援农,谷晓博,等. 降解膜覆盖种植方式对夏玉米土壤养分和氮素利用的影响〔J〕. 农业机械学报, 2016, 47(2): 133 – 142.〔Zhou Changming, Li Yuannong, Gu Xiaobo, et al. Effects of biodegradable film mulching planting patterns on soil nutrient and nitrogen use efficiency of summer maize〔J〕. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(2): 133 – 142.〕
〔30〕 贺欢,田长彦,王林霞. 不同覆盖方式对新疆棉田土壤温度和水分的影响〔J〕. 干旱区研究, 2009, 26(6): 826 – 831.〔He Huan, Tian Changyan, Wang Linxia. Effect of different coverings on soil temperature and soil moisture content in cotton field in Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research, 2009, 26(6): 826 – 831.〕
〔31〕 Debashis C, Nagarajan S, Aggarwal P, et al. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment〔J〕. Agricultural Water Management, 2008, 95: 1 323 – 1 334.
〔32〕 Gao Y H, Xie Y P, Jiang H Y, et al. Soil water status and root distribution across the rooting zone in maize with plastic film mulching〔J〕. Field Crops Research, 2014, 156: 40 – 47.
〔33〕 张淑芳,柴守玺,蔺艳春,等. 干旱年份地膜覆盖模式对春小麦土壤水分和产量的影响〔J〕. 中国农业气象, 2011, 32(3): 368 – 374.〔Zhang Shufang, Chai Shouxi, Lin Yanchun, et al. Effects of plastic film mulching patterns on soil moisture and spring wheat yields in drought years〔J〕. Chinese Journal Agrometeorology, 2011, 32: 368 – 374.〕

Effects of Biodegradable Plastic Film Mulching on the Growth Winter Wheat on the Loess Plateau Dryland

ZHAO Gang,　FAN Ting-lu,　DANG Yi,　ZHANG Jian-jun,　LI Shang-zhong,
WANG Shu-ying,　CHENG Wan-li,　WANG Lei
(*Institute of Dryland Farming, Gansu Province Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *Gansu, China*)

Abstract: Three treatments, i. e. the common plastic film mulching with soil cladding cultivation (PM), whole biodegradable plastic film mulching with soil cladding cultivation (JM), and open ground treatment (CK) were carried out in 5 successive years from 2011 to 2016. The purposes of the study were to clarify the effects of biodegradable plastic film mulching on winter wheat growth in arid area, and to analyze the differences of the indexes including soil moisture content and temperature as well as the yield of winter wheat in its different growing periods. The results showed that the soil water consumption varied in an order of CK > JM > PM during the full growth period of winter wheat under different treatments, and the peak water consumption was in an order of pustulation stage > jointing stage > stage of seedling establishment. During the sowing-jointing stage of winter wheat, soil temperature in the morning, afternoon and at night was higher under JM treatment than that under PM and CK treatments. The temperature in soil layer of 15 – 20 cm in depth under JM treatment was 0.26 ℃ lower than that under PM treatment. From the stage of seedling establishment to jointing stage, the surface temperature under these 3 treatments was in an order of PM > JM > CK. During the jointing stage and after harvesting, the value of nitrate nitrogen accumulation within soil layer of 0 – 200 cm in depth was higher under JM treatment than that under PM treatment, and there was no significant difference of this index between JM treatment and CK treatment. Compared with the yield and water use efficiency under PM treatment, those under JM treatment were decreased by 3.43% and 5.55%, respectively. Under JM treatment, the 80% biodegradable plastic film was degraded after ploughing and burying for 90 days, and it was completely degraded after ploughing and burying for 135 days. Therefore, the biodegradable film can be used as a substitution of ordinary polyethylene film in cultivating winter wheat in arid area.

Key words: biodegradable plastic film; soil moisture content; soil temperature; winter wheat; yield; Gansu Province